

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-100

見えない連鎖
—カレシの元カノの元カレを知っていますか?—

東京大学大学院経済学研究科

勝又壮太郎

安田 雪

2006年10月



東京大学21世紀COE [モノづくり]
ものづくり経営研究センター

見えない連鎖

—カレシの元カノの元カレを知っていますか？

東京大学大学院経済学研究科

勝又 壮太郎

安田 雪

2006年10月

要約：人間関係は、目に見えない連鎖を形成している。この見えない連鎖の全体像を現実に計測することは不可能であり、人間関係の構造については局所的なデータしか入手できない。本論文では、この見えない連鎖を、シミュレーションによって再現し、その形成過程からネットワークの構造的特徴を考察する。具体的には、人間の交際関係の連鎖を、過去の交際人数や知人数などのデータをもとに再現する。シミュレーションの結果、現実の観測値によく近似した分布が得られた。また、連鎖の広がりには、次数分布だけではなく、個々のアクターの選択範囲が重要な影響を及ぼすことが明らかになった。また、その他、シミュレーション結果の有効性、モデル拡張のための追加ルール、「クチコミ」ネットワークなどの他分野への効用可能性を論じる。

1. 関係の地平線問題

本論文の目的は、人間の交際関係についての先行研究データをパラメータに用いて、シミュレーションによってネットワークを形成し、その構造的特徴を考察することにより、実際の調査では追跡不可能な、人間関係の「見えない連鎖」を再現することである。

人間の交際関係は、目に見えない。恋人関係、友人関係、知人関係などが、その例である。大多数の人は、自分の直接の交際相手のことこそ知っているものの、その交際相手の昔の交

際相手のことはほとんど知らない。この事実は、最近、公共広告機構（AC）¹ のエイズ検査キャンペーンで使われた「カレシの元カノの元カレを知っていますか？」というキャッチコピーにより、広く認知されるようになった。まさに見えない関係は果てしなく連鎖しているように見える。

だが、「実際に恋人の恋人をたぐっていくと、その連鎖には何人が含まれるか」という疑問がわく。この解を求めるのは、実は非常に困難である。「カレシの元カノ」、「カレシの元カノの元カレ」といった、その背後に広がるネットワークを完全に辿ることは通常的手段では困難であり、現実世界の実態を知ることは、ほぼ不可能である。各個人は局所的な情報しか持たず、「カレシ」は知っていても、その2ステップ先である「カレシの元カノの元カレ」となると、顔や名前を知っていることはほとんどない。さらに、交際人数が一人増えたときに、背後に連なるネットワークがどの程度拡大するのかについても、明確に答えを出すことは難しい。

とはいえ、これらを解明する手がかりが全くないわけではない。「直接の交際人数」や「平均的個人の知人数」などの調査データは入手可能である。また、「直接の交際人数」の分布を調査した先行研究もあり、人間の性的ネットワークは、べき分布（Power law）に従うことも明らかにされている（Liljeros F., Edling C. R., Amaral L. A. N., Stanley H. E., Aberg Y., 2001）。べき分布をもつネットワークの発生方法として、ひとつに優先的選択（Preferential Attachment）ルールがあり、シミュレーションによるネットワークの構築は、その形成過程を表すことができ、人間関係の見えない連鎖を再現するために極めて有効だと考えられる。

次節以降では、まず、シミュレーションモデルのルールを概説し、続いてモデルの試算を行う。その後、実際のパラメータを取り入れて計算を行い、結果の考察と、モデル自体の今後の応用について論じる。

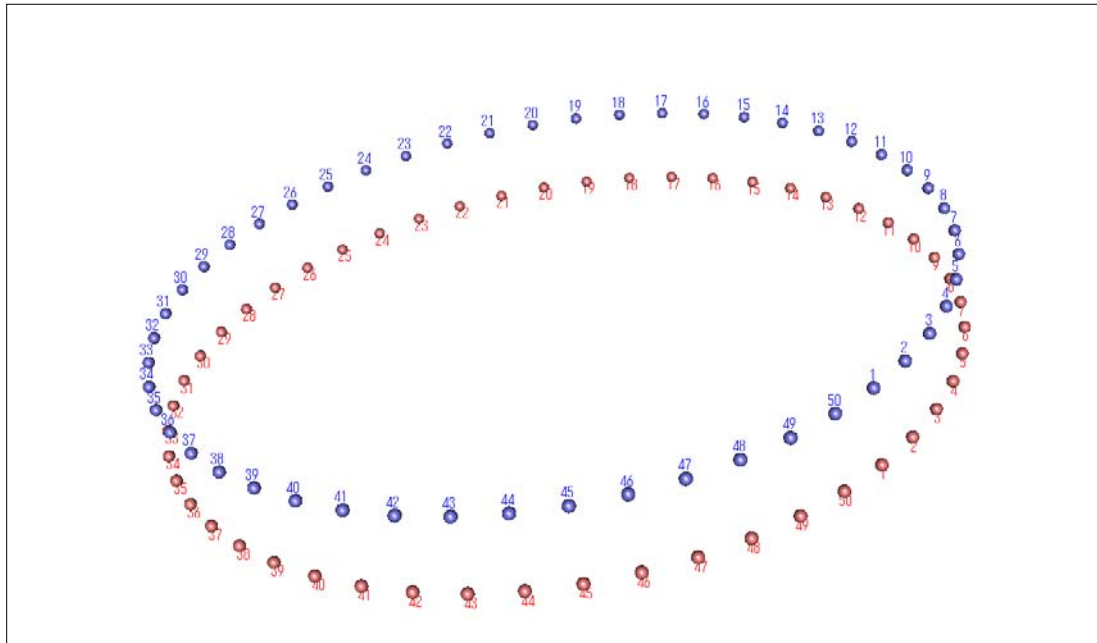
2. モデルの概要

2-1 シミュレーション概要

今回用いるモデルは、 N 人の男と N 人の女で構成される。個人は円形に配置される（図1）。この合計 $2N$ 人が、一定のルールで異性間のパスをひいていく。パスは二者間の交際関係の成立を意味する。

¹ <http://www.ad-c.or.jp/index.html>

図 1 初期状態



初期状態 ($N = 50$)。男 (青)、女 (赤) が円形 2 段に配列されている。全員が孤立している状態である。

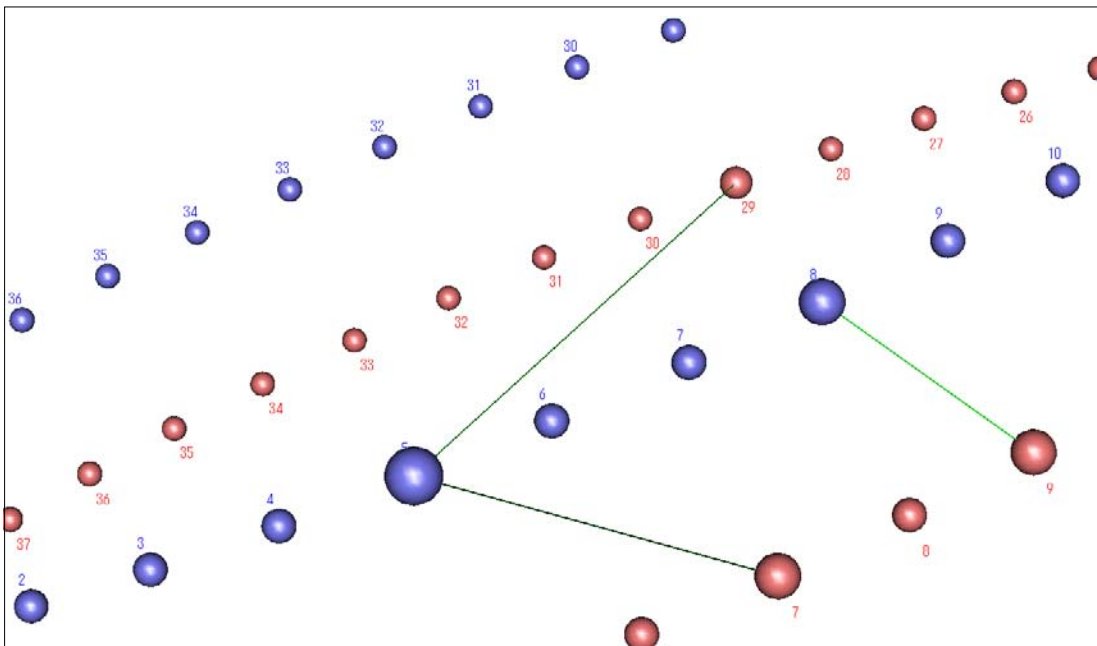
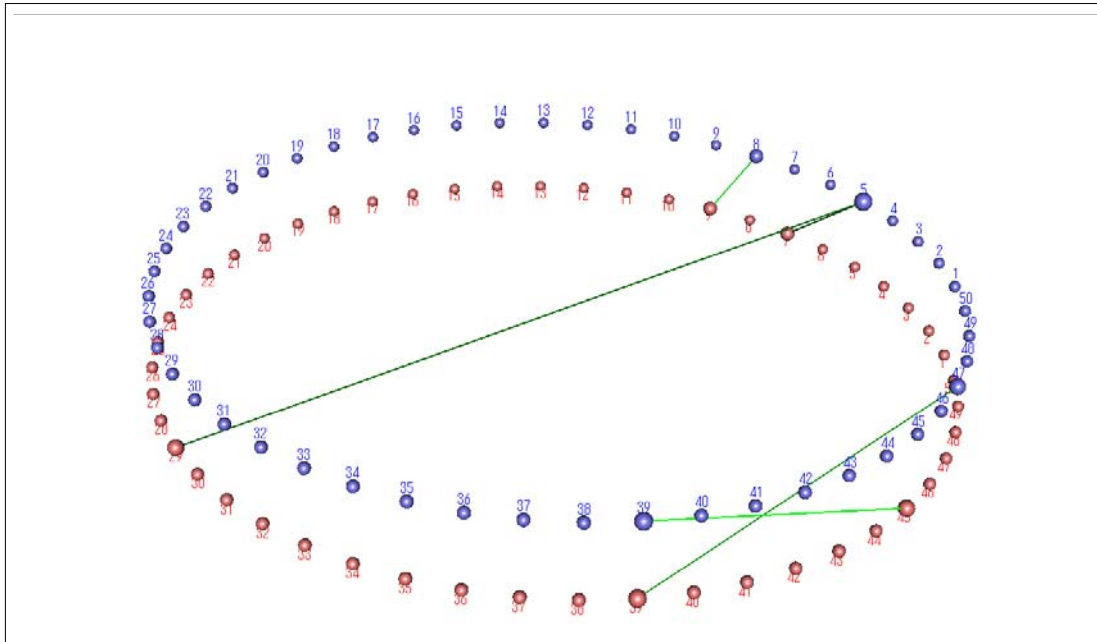
2-2 基本ルール

基本ルールは以下のとおりである。ここで、Seeker は交際相手を探す人、Receiver は、交際申し込みを受ける人と定義する。

- I. 奇数回目の繰り返しの時は女が、偶数回目の繰り返しの時は男が Seeker となる。Seeker は後述する選択ルールにしたがって決められる。
- II. Seeker は、異性 N 人の中から、選択ルールにしたがって Receiver を決める。
- III. Seeker と Receiver の間にパスがまだ引かれていない時には、その Seeker-Receiver 間にパスを引く。パスが既に引かれている時には、II. の選択規則にしたがって別の Receiver を探す。
- IV. 全体のパスの合計数が、 νN 本になるまで I.~III. を繰り返す。 ν は平均交際人数となる。

図 2 以下では、古いパスは黒、新しいパスは緑であらわし、接続しているパスが多いほど、アクターを大きくする。

図2 パスが少し引かれた例



[上] 全体像、[下] 視点を変えて一部を拡大したもの。

2-3 選択ルール概説

§1 準備

まず、ここで使われる指標について概説する。

見えない連鎖

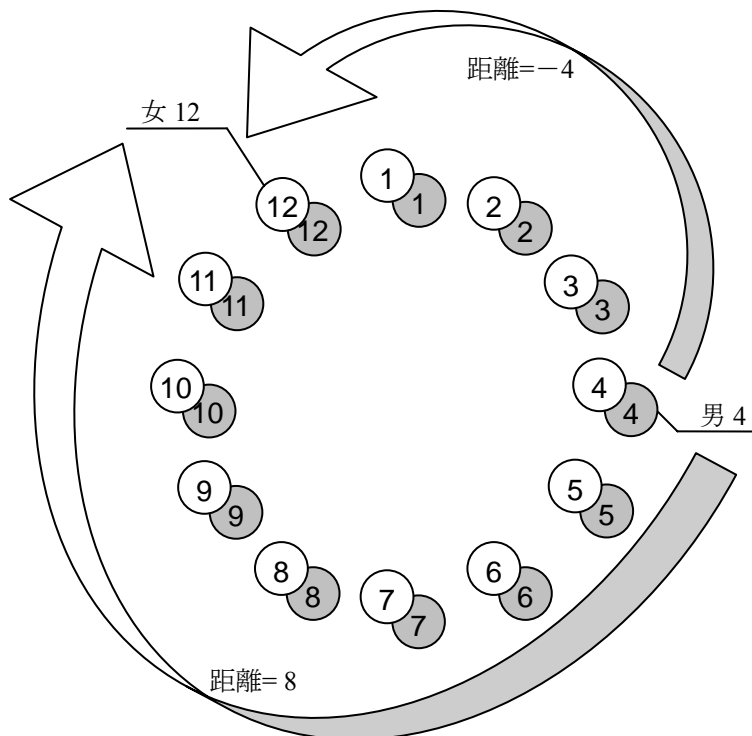
パス本数 : k

シミュレーション計算中の、 h 回目の繰り返しにおいて ($\forall h \in \{1, \dots, vN\}$)、女 $Fj (\forall Fj \in \{1, \dots, N\})$ に繋がっているパスの本数を $k_{Fj}^{(h)}$ 、男 $Mi (\forall Mi \in \{1, \dots, N\})$ に繋がっているパスの本数を $k_{Mi}^{(h)}$ と置く。シミュレーションの繰り返しが終わり、ネットワークが完成したときは、右肩の記号を省略し、 k_{Fj} 、 k_{Mi} と表記する。このとき、前述のとおり、 k の平均は v である。

距離 : D

今回のシミュレーションモデルでは、アクター間の距離を考慮する。アクターは円形に配置されているため、アクター同士の距離を考える時、右回りと左回りの2通りの距離が考えられる。例えば図3の状態において、男4と女12の距離は、 -4 か 8 の2値をとり得るが、このとき、絶対値の小さい方の距離をとる ($D(M4, F12) = -4$)。右回りなら負、左回りなら正の値をとる。

図3 2アクター間の距離の例



以下、男 Mj と女 Fi の距離は、 $D(Mj, Fi)$ と表記する²。

² 左回りの最大距離と右回りの最大距離が等しくなったときは、等確率でどちらかを採用する。

§2 選択ルール

以下、3種類の選択ルールを説明する。

選択ルール (1) : ランダム選択 (Random Attachment)

どのアクターも等確率で選ばれるルールである。アクター n が選ばれる確率 $P_R\{n\}$ は次のとおりである。

$$P_R\{n\} = \frac{1}{N} \quad (1)$$

この確率は、シミュレーション期間中一定である。

選択ルール (2) : 優先的選択 (Preferential Attachment)

パス数の多いアクターが選ばれるルールである。 h 回目の繰り返しにおいて、アクター n が選ばれる確率 $P_P^{(h)}\{n\}$ は次のとおりである。

$$P_P^{(h)}\{n\} = \frac{k_n^{(h)} + 1}{\sum_{i=1}^N (k_i^{(h)} + 1)} \quad (2)$$

このルールでは、パス数が 1 本の個人は、パス数が 0 本の個人よりも 2 倍選ばれやすい。同様に、パス数が a 本の個人は、パス数が b 本の個人より $(a+1)/(b+1)$ 倍選ばれやすくなる。

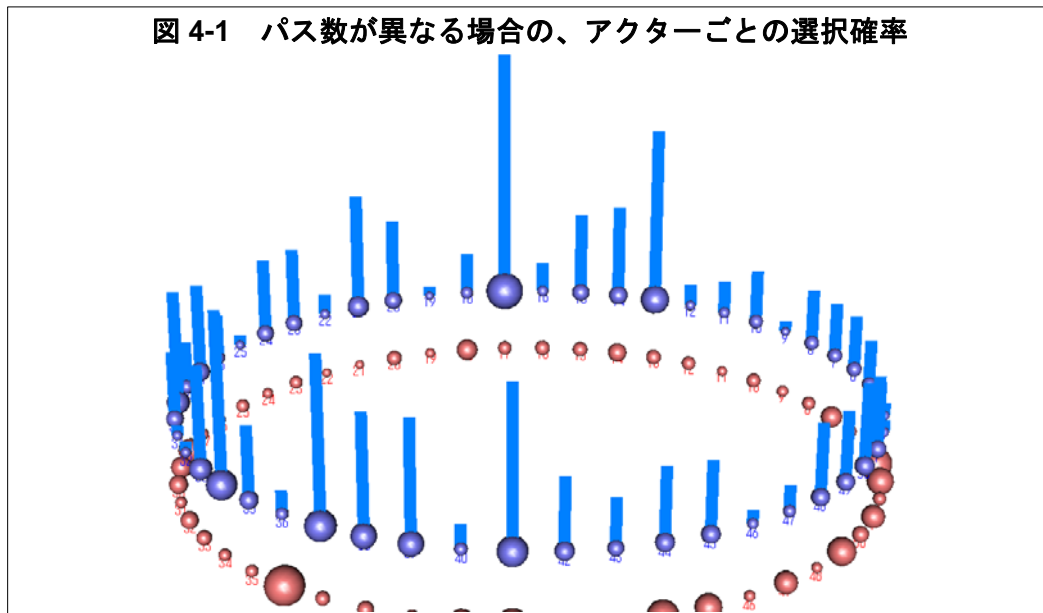
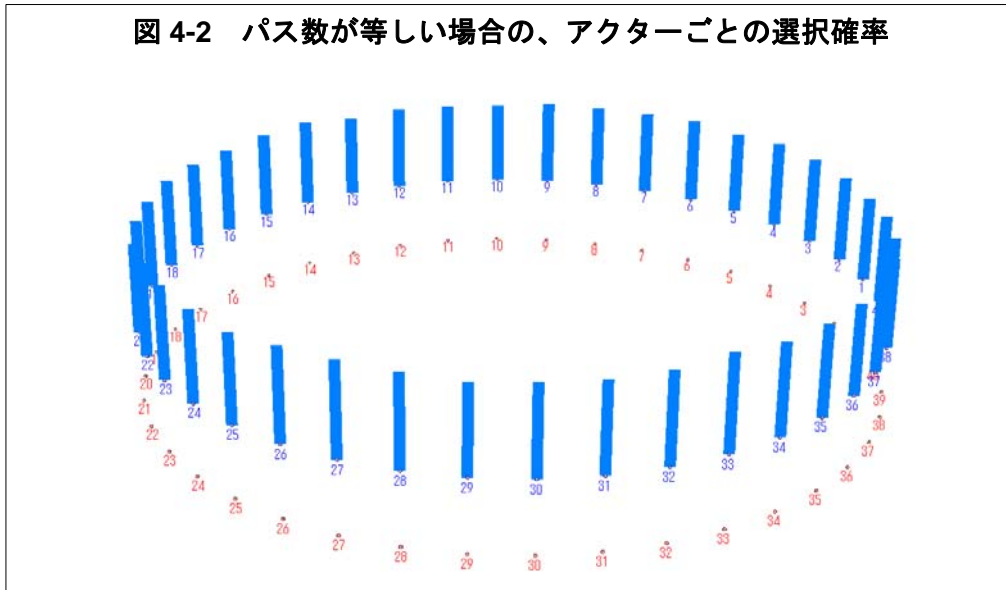


図 4-2 パス数が等しい場合の、アクターごとの選択確率



交際関係のパスは省略している。

図 4 において、青いバーは、各アクターが選択される確率を示している。交際関係のパス描画は省略している。バーの高さが、そのアクターが選択される確率の高さを示している。図 4-1 では、パスの多いアクター、すなわち球の大きいアクターの選択される確率が高いことが分かる。また、図 4-2 では、すべてのアクターのパスが等しいため、全アクターの選択確率が等しくなっている。

選択ルール (3) : 近傍選択 (Neighbor Attachment)

近傍の相手ほど選ばれやすいというルールである。したがって、Seeker の位置関係が重要になる。Seeker を女 F_j 、Receiver を男 M_n として説明するが、逆の場合も手続きは同様である。

まず、距離の重みをつけた選択確率 P_N を、次のように定義する。

$$P_N \{M_n | F_j\} = \int_{a-0.5}^{a+0.5} \phi_{(0,N)}(x | \mu, \sigma^2) dx \quad (3)$$

ここで、 $\phi(\cdot)$ は区間 $(0, N)$ の切断正規分布 $TN_{(0,N)}(\mu, \sigma^2)$ の密度関数である。平均 $\mu = N/2, a = D(M_n, F_j) + N/2$ である。Receiver M_n が、Seeker F_j から離れるほど、選ばれる確立が小さくなる。この確率は、シミュレーション期間中一定である。

この選択ルールでは、正規分布の標準偏差を指定するパラメータとして、 σ を与えている。この σ によって、Seeker から見える範囲を規定、すなわち、距離に応じた選択対象の重み付

けを行う。Receiver の被選択可能性を、Seeker との距離に応じて変化させ、近いほど見えやすく選ばれやすく、遠いほど見えにくく選ばれにくくするためである。 σ が大きくなるほど、広範囲から Receiver が選ぶようになり、 σ が小さくなるほど、狭い範囲から選ぶ傾向が強くなる。

σ を上記のように規定するのは、コミュニティの人数 N にかかわらず、知人数 X の制約範囲内に、交際相手の数 k がおさまるようになるためである。また、この σ は、Seeker の可視範囲を調整しており、現実の関係の地平線状態とも対応させている。

X に対して N が十分大きいとき、 $1-Y$ の確率で近傍 X 人が選ばれるような σ の値は、以下のようになる。

$$\sigma = \frac{X}{-2\Phi^{-1}(Y/2)} \quad (4)$$

ここで、 $\Phi^{-1}(X)$ は、標準正規分布の分布関数の逆関数である³。

例えば、95% ($Y = 0.05$) で近傍 100 人が選ばれるように設定する時、 $\Phi^{-1}(0.025) = -1.96$ 、 $\Phi^{-1}(0.975) = 1.96$ となるので、

$$\sigma = \frac{100}{2 \times 1.96} \approx 25.51 \quad (5)$$

となる。したがって、 σ のおよそ 4 倍の値が、95% の確率で選ばれ得るアクターの人数になる。

選択ルール (4) : 優先的近傍選択 (Preferential Neighbor Attachment)

選択ルール (2) の優先的選択と、選択ルール (3) の近傍選択の双方を考慮した選択ルールである。 h 回目の繰り返しにおいて、Seeker を女 Fj としたとき、男 Mn が Receiver として選択される確率 $P_{PN}^{(h)}$ を、次のように定義する。

$$P_{PN}^{(h)}\{Mn|Fj\} = \frac{P_P^{(h)}\{Mn\}P_N\{Mn|Fj\}}{\sum_{Mi=1}^N P_P^{(h)}\{Mi\}P_N\{Mi|Fj\}} \quad (6)$$

図 5 は、選択ルール (4) を採用したときの、アクターの選択確率である。図 5-1 は、全アクターのパス数が等しいため、Seeker からの距離だけに依存して選択確率が決まる (選択

³ 正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ における確率 Y の信頼区間は、 $[\mu - \Phi^{-1}(Y/2)\sigma, \mu + \Phi^{-1}(1 - (Y/2))\sigma]$ である。ここで、この区間が X になるような σ の値は、 $X = \mu + \Phi^{-1}(1 - (Y/2))\sigma - (\mu - \Phi^{-1}(Y/2)\sigma)$ を計算すればよい。 $X = \Phi^{-1}(1 - (Y/2))\sigma - \Phi^{-1}(Y/2)\sigma$ となる。ここで、 $\Phi^{-1}(Y/2) = -\Phi^{-1}(1 - (Y/2))$ となるので、整理して $X = -2\Phi^{-1}(Y/2)\sigma$ を得る。これを σ について整理すると、 $\sigma = X / (-2\Phi^{-1}(Y/2))$ となる。

見えない連鎖

ルール (3) : 近傍選択ルールの影響だけを受けている)。図 5-2 からは、近傍であるということと、アクターのパス数の双方が、選択確率に影響していることがわかる。

図 5-1 パス数が等しい時の全アクターの選択確率

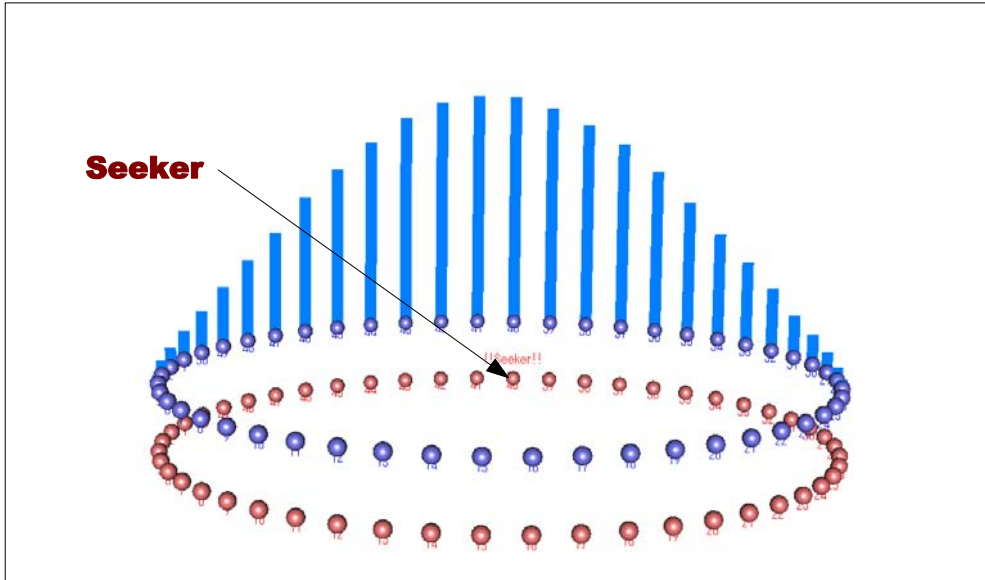
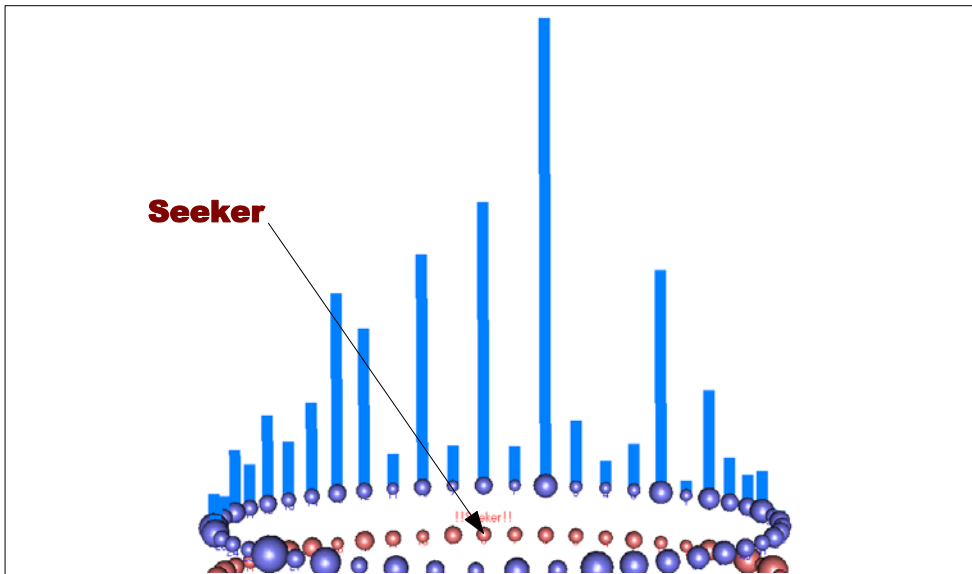


図 5-2 パス数が異なる場合のアクターの選択確率



2-4 シミュレーションモデル

本論分では、以下の2種類のシミュレーションモデルを定式化した。

ランダム選択モデル : $RC(N, v)$

Seeker、Receiverともに、選択ルール(1)にしたがって選ばれる。このルールでは、どの

個人も等確率で交際相手を探し、交際相手としてどの異性も等確率で選ばれる。

このランダム選択モデルと対比するために、現実の交際相手の選択に働くであろう行動原理に近い、選択ルール (2) と、選択ルール (4) を組み合わせて、加重選択モデルを以下のように定式化する。

加重選択モデル : $WC(N, \nu, \sigma)$

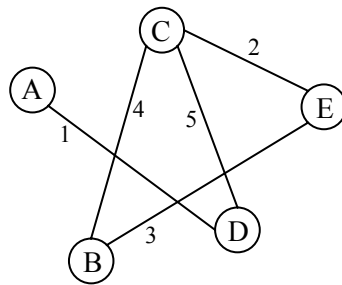
Seeker は選択ルール (2) にしたがって選ばれ、Receiver は選択ルールにしたがって選ばれる。このルールでは、パス本数の多い個人ほど、頻繁に交際相手を探し、パス本数が多く、かつ Seeker と距離の近い異性ほど、頻繁に選ばれる。

2-5 ネットワーク評価の指標

§1 連鎖累積数の計算

個人 i の引いているパスを遡って、パスで繋がっているアクター数を数え、 B_i とする。これが、元カレの元カノ…の累積連鎖人数になる。ただし、自分自身はカウントしない。たとえば、**図 6** のネットワークにおいて、パスが数字の順番で引かれている。A のパスを遡っていくと、D にのみ繋がる。したがって $B_A = 1$ となる。同様に、 $B_D = 4$ である。男 M_i の累積連鎖人数の表記を B_{M_i} 、女 F_j のそれを B_{F_j} とする。

図 6 累積連鎖計算と伝染連鎖計算のための例



§2 伝染連鎖数の計算

個人 i の引いたパスからはじまって、パスに繋がっているアクターを数えていく。自分から連鎖が形成されていった人数が算出できる。ただし、自分を参入する。**図 2** のネットワークにおいては、A からのパスは、D と C に繋がる。したがって $F_A = 2$ となる。同様に、 $F_D = 2$ である。表記は、男 M_i の伝染連鎖計算を F_{M_i} 、女 F_j のそれを F_{F_j} とする。

§3 ジャンプ幅

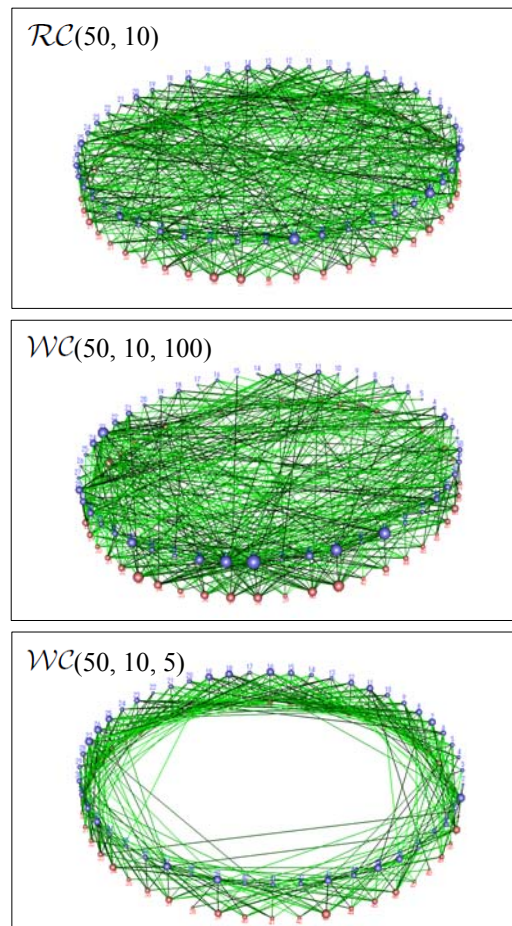
シミュレーションの、第 h 回目の繰り返しにおいて、Seeker F_i と Receiver M_j の間にパスが引かれたとき、その距離 $D(M_j, F_i)$ をジャンプ幅 $R^{(h)}$ とする。

3. 可視化とシミュレーション

3-1 モデルの比較

図 7 は、パラメータ設定を少しずつ変えて、前述のモデルのシミュレーションをした結果を可視化したものである。このうち、大きく異なる概観を見せたのは、 σ を絞った加重選択モデル $WC(50, 10, 5)$ である。上 2 つがふるいのような形をしているのに対し、下はドーナツのような形状をしている。パラメータ σ を小さくした加重選択モデルには、距離の長いパスが発生しにくくなっている。

図 7 ネットワーク関係図



次に、パラメータを変更してシミュレーションを行ってみよう。以下では、コミュニティ人数を増やして $N = 500$ と置き、 $\nu = 5$ と置いたランダム選択モデル $RC(500, 5)$ と、同様 N 、

k を置き σ の値を変えた、 $WC(500, 5, 1000)$ 、および $WC(500, 5, 25.5)$ (近傍 100 人を 95%で選択する制約を入れた⁴⁾ の 3 種類のシミュレーション計算結果を比較する。

図 8 パス数 (k) 分布のヒストグラム
 [上] $RC(500, 5)$ 、[下右] $WC(500, 5, 1000)$ 、[下左] $WC(500, 5, 25.5)$

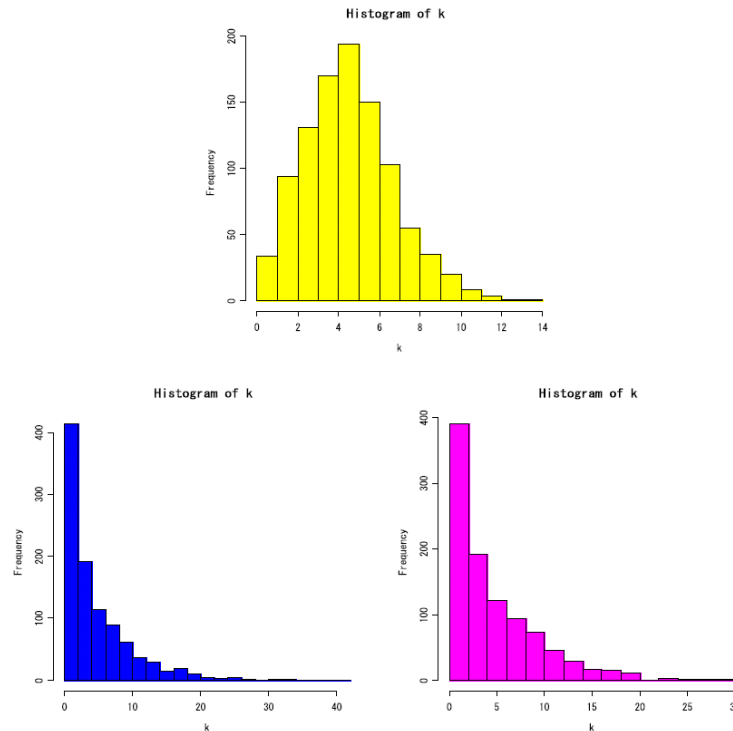


図 8 は、3 種類の計算結果における、パス数のヒストグラムである。下段を見ると分かるように、優先的選択を取り入れた $WC(\cdot)$ では、スケールフリー構造を持つネットワークが表れた。このシミュレーションモデルは、男・女の二部グラフになっているが、このような二部グラフにおいても、優先的選択ルールからスケールフリーネットワークを発生させることができるといえる。さらに、**図 8** 下右は、 σ を絞り、 $\sigma = 25.5$ (近傍 100 人選択)にしたものだが、ここでも同様の分布が表れ、 $WC(\cdot)$ において、パス数の分布は、選択範囲の大小にかかわらず、スケールフリー構造を持つといえる。

図 9 は、ジャンプ幅 (R) のヒストグラムである。 $RC(500, 5)$ は距離に関する制約を入れていないので、ジャンプ幅は一様分布をしている。また $WC(500, 5, 1000)$ も、 σ があまりに大きいため、距離制約の形状をしている。 $WC(500, 5, 25)$ のジャンプ幅は、距離制約の影響

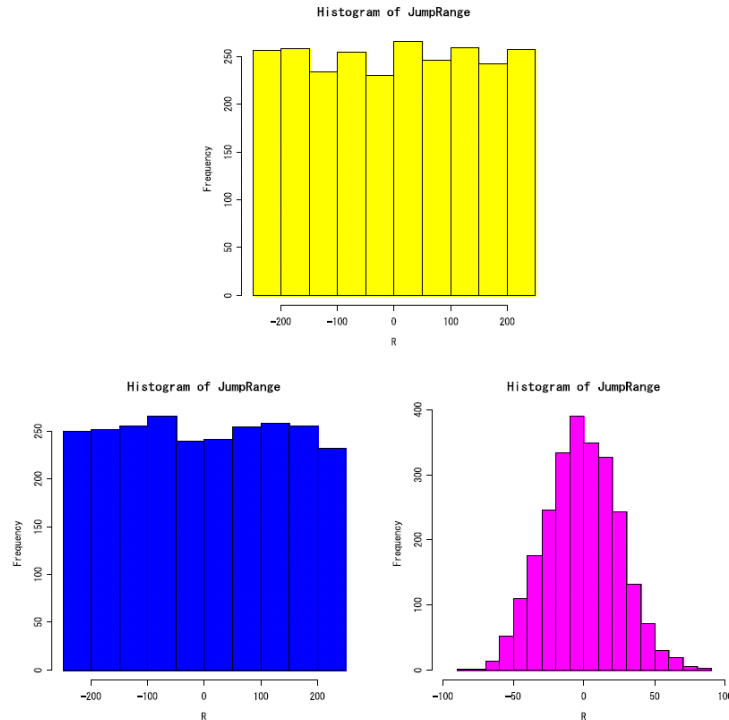
⁴⁾ $\sigma = \frac{100}{2 \times 1.96} \approx 25.5$

見えない連鎖

を受けて正規分布している。ジャンプ幅の 2.5%、97.5%点は、 $[-51, 50]$ であり、近傍 100 人を 95%で選択していることが確認できる。

図 9 ジャンプ幅 R のヒストグラム

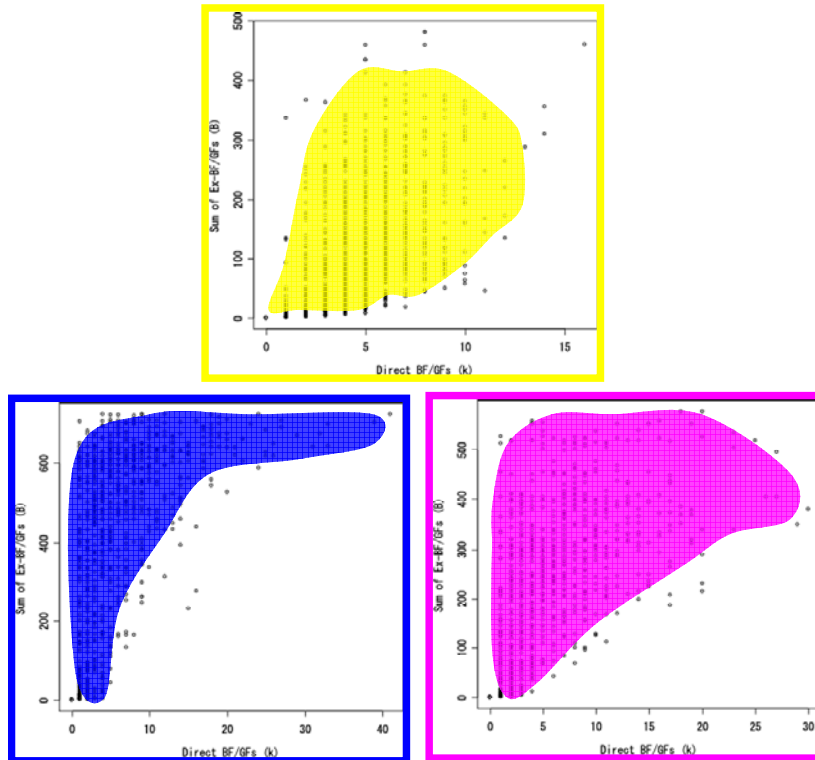
[上] $\mathcal{RC}(500, 5)$ 、[下右] $WC(500, 5, 1000)$ 、[下左] $WC(500, 5, 25.5)$



さらに、直接交際数 (k) と連鎖累積数 (B) の比較を行った (図 10)。 $\mathcal{RC}(\cdot)$ [上]と $WC(\cdot)$ [下]では、連鎖累積数がかかなり違うことが分かる。スケールフリー構造を持つ $WC(\cdot)$ の方が、累計連鎖数は多くなっている。ただし、距離制約が効いていない $WC(500, 5, 1000)$ [下左]と近傍 100 人選択制約を入れている $WC(500, 5, 25.5)$ [下右]を比較しても、差異があることが分かる。より近傍から選択している $WC(500, 5, 25.5)$ の方が、連鎖累積人数 B が下方に抑えられている。近傍で密な関係ができているため、連鎖の範囲が広がらないと考えられる。距離の制約も、連鎖累計数に大きな影響を与えていることが分かる。

以上の、ランダム選択モデル $\mathcal{RC}(\cdot)$ と加重選択モデル $WC(\cdot)$ の比較から、加重選択モデル $WC(\cdot)$ に、かなり特徴的な性質を見ることができた。スケールフリー構造は、現実のデータからも確認できる。また、近傍選択ルールは、より現実的な仮定であるといえる。したがって、次節では、 $WC(\cdot)$ をさらに精緻化するために、実際の調査によって得られた数値をパラメータに用いて計算し、得られたネットワークを考察する。

図 10 直接の交際相手 (k) と、連鎖累計数 (B) のプロット
 [上] $RC(500, 5)$ 、[下右] $WC(500, 5, 1000)$ 、[下左] $WC(500, 5, 25.5)$



3-2 パラメータを投入した計算

§1 パラメータの設定

$WC(N, \nu, \sigma)$ の、3 種類のパラメータのセッティングを行う。

交際相手の平均数： ν

日本人の平均的な彼氏、彼女の数をもとに k を決定したい。ここでは、NHK (2002) にてまとめられた、過去の性的接触人数を用いる。ただし、このアンケートでは、10 人以上の場合は「11~49 人」「50~99 人」「100 人以上」という、おおまかな選択肢でしかない。したがって、11~49 と答えた場合は 30 人、50~99 と答えた場合は 75 人、100 人以上と答えた場合は 100 人として、平均値を計算した。結果、平均は 5.356 人となった。したがって、 $\nu^* = 5.4$ としてシミュレーションを行う。

近傍選択範囲： σ

人間が交際相手のほとんどを自分の知り合いから探すとする。知り合いの人数は、日本人の平均的な知人数 X をもとに決定する必要がある。ここでは、「選択する相手が近傍 X 人以

見えない連鎖

内である確率が Z 』として σ を定める。日本人の知人数に関する研究には、辻・松山・針原 (2002)、辻・針原 (2003)、吉田暁生 (2006) などがあるが、おおよそ 130~200 人である。ただし、これは一時的な数値である。過去の知り合いの累計数については、大学生を対象とした調査が辻・松山・針原 (2003) によってなされており、449 人とされている⁵。大学生以上も含めると、知り合いはもう少し多く、500 人以上と考えられるが、ここでは仮に過去の知り合いの累計数を 500 人とし、そのうちの半数を異性とする。したがって、選択集合の規模 $X = 250$ となる。そのうえで、「選択する相手が近傍 250 人以内にある確率が 0.95」として σ を決定する。(4) 式に数値を代入すると、 $X = 250$ 、 $Y = 0.05\Phi^{-1}(0.025) = -1.96$ 、 $\Phi^{-1}(0.975) = 1.96$ より、

$$\sigma^* = \frac{250}{2 \times 1.96} \approx 63.8 \quad (7)$$

となる。

コミュニティのサイズ： N

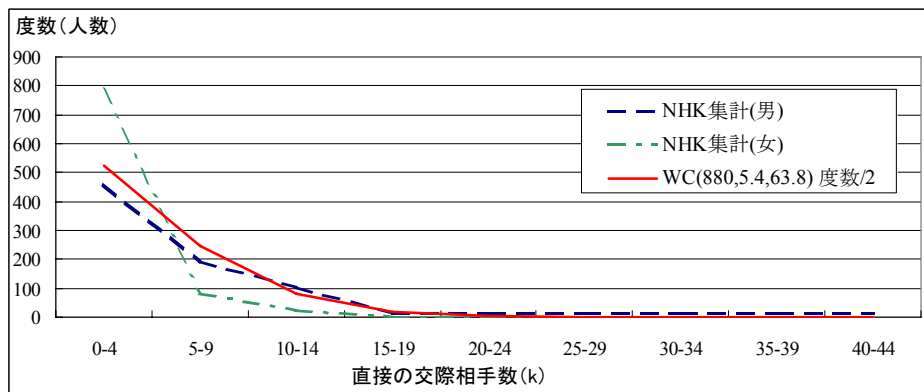
コミュニティのサイズは潜在的な知人の母集団の人数であるとする。これは、現実社会を考えれば数万~数千万規模になる可能性もあるが、本研究では、メモリの問題で大規模シミュレーションは不可能である。したがって以下では、 N を変化させて、結果を考察する。

§2 結果

まず、NHK が収集したデータと我々のシミュレーションを比較し、モデルの精度を確認する。

図 11 NHK データとの比較

直接の交際相手数 (k) が 0~4 人の個人は、シミュレーション結果では 1051 人 (度数を割って 525.5 人) であった。実際のデータでは、男 462 人、女 789 人であった。



⁵ この研究は現在も以下のサイトで進行中である。

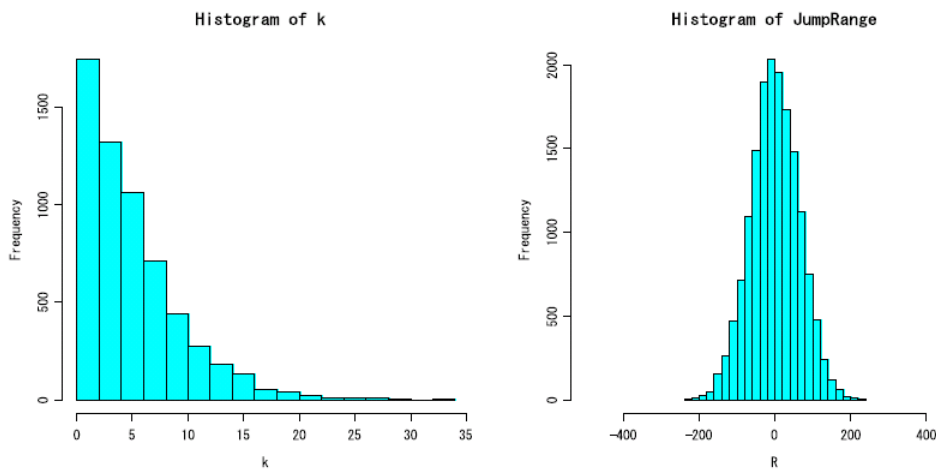
<http://www.meijigakuin.ac.jp/~rtsuji/jp/>

図 11 では、NHK の調査結果データと、 N を約 800 とした、本論文のシミュレーション結果を比較している。ただし、シミュレーションの分布は男女合計した値を算出するので、調査データとあわせるために、度数を 2 で割っている。これを見ると、現実の分布、特に男性の分布をかなり正確に再現できているといえよう。シミュレーション結果と女性の分布には、男性と比べると、ややずれがある。

次に、コミュニティサイズを拡大し、 $N = 3000$ として、シミュレーションを行った。ジャンプ幅 (R) の 2.5%、97.5% 点はそれぞれ、 $[-126, 125]$ となり、250 人近傍ルールが効いていることが確認された。

この、 $N = 3000$ のシミュレーションから得た、パス数 k の分布と、ジャンプ幅 (R) の分布を示したものが、図 12 である。スケールフリー構造と、近傍選択構造が再現されていることが分かる。また、連鎖累積数 (B) の最大、最小と各四分位点 $[\min, 0.25, 0.5, 0.75, \max]$ はそれぞれ $[0, 81, 327, 602, 1364]$ であった。伝染連鎖数 (F) の $[\min, 0.25, 0.5, 0.75, \max]$ はそれぞれ $[0, 71, 326, 613, 1356]$ となった。どちらの値も、似た傾向を示している。

図 12 [左]パス数 (k) の分布と、[右]ジャンプ数 (R) の分布



横軸に直接の交際相手数 (k) の増加に伴う、連鎖累積数 (B) の変化をプロットしたものが、図 13 である。[上]は実際の調査データから得たパラメータを用いた $WC(3000, 5.4, 63.8)$ の結果、[下]は比較のために σ を大きくとった $WC(3000, 5.4, 10000)$ の結果である。ふたつの結果は大きく異なっている。

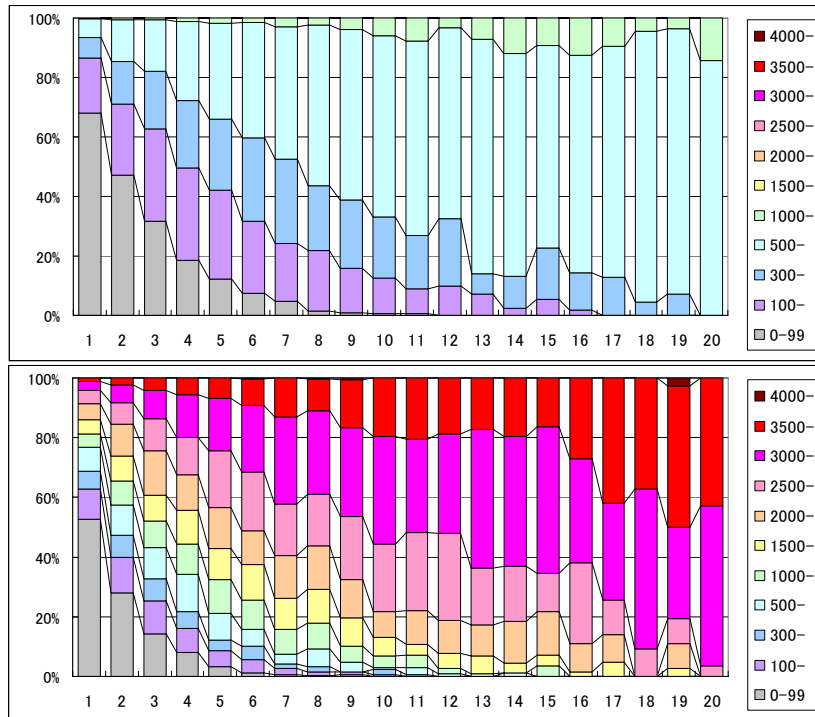
まず、図 13[上]、実際の調査データから得たパラメータを用いた $WC(3000, 5.4, 63.8)$ の結果を見ていこう。直接の交際相手が 1 人しかいない個人の 70% 程度が、100 人以下の累積連鎖数を持つ。同じく、80% までが、200 人以内でおさまる。交際人数が 1 人で、500 人を超える累積連鎖数を持つ個人は 5% 程に過ぎない。これに対して、直接の交際相手が 7 人にな

見えない連鎖

ると、累積連鎖数が 500 人を超える割合は、約 5 割にもなる。連鎖累積数が 100 人未満でおさまる割合が、直接交際相手の人数の増加に伴い、指数分布的に減っていくことも確認できる。

図 13 横軸に直接の交際相手数 (k) をとったときの連鎖累積数 (B) との関係

[上] $WC(3000, 5.4, 63.8)$ 、[下] $WC(3000, 5.4, 63.8)$



しかしながら、 σ を大きくとり、選択範囲を広げると (図 13[下])、累積連鎖数は最大 4000 人以上まで増えている。「カレシの元カノの元カレ…」の人数をシミュレーションによって推計する際、個人の選択範囲を考慮することは、非常に重要だといえる。この制約を考えずにシミュレーションを行うと、推計値が大きく膨れ上がるおそれがあるからだ。

4. 結論

今回のモデルは男女の二部グラフであるが、優先選択ルールによって構築されたネットワークである。結果として、二部グラフであっても優先的選択ルールによってスケールフリー構造を持つネットワークを発生させられることがわかった。さらに、近傍選択ルールを採用し、選択範囲を絞っても、スケールフリー構造を発生させられることがわかった (図 8)。しかしながら、累積連鎖数には差異があり (図 10)、近傍選択の要素は、実際の「カレシの元カノの元カレ…」の累積人数を考慮するうえで非常に重要であるということが確認できた。

連鎖の広がりには、次数分布だけではなく、個々のアクターの選択範囲が重要な影響をおよぼすのである。

また、実際のデータをパラメータとして組み込んだ時の結果も、選択範囲が明らかに影響を与えていることがわかった (図 13)。自分の直接の交際相手数の情報だけでは、その背後に広がる累積連鎖数の推計は難しく、次数の平均や分布だけでなく、選択範囲を推計モデルに組み込まねばならないといえる。

今後のモデルの拡張として、各個人の初期属性を定めることが考えられる。今回のモデルでは、初期状態では、各個人に差はまったくなく、パスが引かれていくと、その数に比例して個人が活動的かつ魅力的になるという「the rich gets richer」ルールを定めている。交際人数が多くなれば、それだけ交際に対して習熟するため、この仮定はある程度現実を反映していると考えられる。しかし、活動量と魅力度には多大な個人差があるため、初期状態がまったく平等という仮定は、現実と比べると、多少の差異があることも否めない。異なる初期条件を個人に付与したモデルの拡張は、今後の課題である。

さらなる今後の課題としては、他分野への応用が考えられる。本論文では、交際関係の拡散のネットワークについて考察したが、その他の「隠れた連鎖」を持つネットワークへも応用可能であろう。例えば、マーケティングなどで盛んに研究が行われている「クチコミ」構造の再現などの応用が考えられる。そこでは、男女2層のネットワークではなく、消費者のみのネットワーク、または消費者とマスメディアの二部ネットワークなどの構造が考えられよう。

本論文では、見えない連鎖の実態を捉えるための、ひとつのアプローチを提案したが、今後のさらなるパラメータの精緻化と、モデルの展開が期待される。

謝辞

本研究にあたり、増田直紀先生（理化学研究所）、稲水伸行氏（東京大学）から、大変有用なコメントを頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- Adler, D., Nenadić, O., Zucchini, W., RGL: A R-library for 3D visualization with OpenGL, *Proceedings of the 35th Symposium of the Interface: Computing Science and Statistics, Salt Lake City, 2003*.
- Albert R., Jeong H., Barabási A. L., (1999) Diameter of the World-Wide Web, *Nature*, Vol. 401, September, 130-131.

見えない連鎖

- Barabási A. L., (2002) *Linked: The New Science of Networks*, Perseus Books Group.
- Barabási A. L., Albert R., (1999) Emergence of Scaling in Random Networks, *Science*, Vol. 286, October, 509-512.
- Iacobucci D., (1996) *Networks in Marketing*, Thousand Oaks, Sage Publications: CA.
- Krubman P., (1996) *The Self-Organizing Economy*, Blackwell Publishers: Cambridge, MA.
- Liljeros F., Edling C. R., Amaral L. A. N., Stanley H. E., Aberg Y., (2001) The Web of Human Sexual Contacts, *Nature*, Vol. 411, 907-908.
- R Development Core Team, (2005) R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna Austria, <http://www.R-project.org>.
- Watts D. J., Strogatz S. H., (1998) Collective Dynamics of “Small-World” Networks, *Nature*, Vol. 393, June, 440-442.
- 日本放送出版協会 (2002) 「NHK「日本人の性」プロジェクト (編)」、『データブック NHK 日本人の性行動・性意識』、日本放送出版協会.
- 辻 竜平、松山久美、針原素子 (2002) 「日本における知人・友人数の推定」、数理社会学会第 33 回大会.
- 辻 竜平、針原素子 (2003) 「「小さな世界」における信頼関係と社会秩序」、『理論と方法』、Vol. 18, 15-31.
- 増田直紀、今野紀雄 (2005) 『複雑ネットワークの科学』、産業図書.
- 安田 雪 (2001) 『実践ネットワーク分析 関係を解く理論と技法』、新曜社.
- 安田 雪 (2006) 「マーケティングは関係を制することができるか～ネットワーク分析による消費者関係と商品関係特定の可能性から～」、『マーケティング ジャーナル』、Vol. 26, 4-17.
- 吉田暁生 (2006) 「ランダムサンプリングによる日本人の知人数推計 — 「連絡の取れる人」の数のインターネット調査との比較—」、『赤門マネジメント・レビュー』、Vol. 5, 381-392.